جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارهٔ سی و هفتم، بهار ۱۴۰۰

صص ۲۲۴– ۲۰۹

: https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.67017.0

مقاله پژوهشی

بهینه‌سازی زمان جمع‌آوری پسماندهای شهر زابل در کاهش مخاطرات محیطی با تکیه بر الگوریتم رقابت استعماری و GIS

علیرضا شهبازی[1] – استادیار رشته جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه زابل، ایران

اکبر کیانی – دانشیار رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه زابل، ایران

عباسعلی پیری – دانشجوی کارشناسی ارشد رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه زابل، ایران

امیر حمزه شهبازی- استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه سیستان و بلوچستان ،زاهدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۸ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۲/۱۷ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۲/۳۰

چکیده

در طول دهه گذشته به دلیل افزایش جمعیت جهانی و سرعت گرفتن شهرنشینی تولید زباله‌های شهری به‌صورت چشم‌گیری افزایش یافته و سلامت شهروندان را به خطر انداخته و کیفیت زندگی شهری را پایین آورده است. ازاین‌رو یکی از مباحث مهم که در سال‌های اخیر کاربرد بسیار بالایی در حوزه عملیاتی داشته و برای افزایش کارایی و بهره‌وری سیستم‌های حمل‌ونقل مطرح شده است، بحث مسیریابی ماشین‌های حمل زباله است. علاوه بر آن، مدیریت ضعیف و جمع‌آوری و امحا سازی نامناسب ازآنجایی‌که مسائل و مشکلات زیست‌محیطی را در اکوسیستم شهری ایجاد می‌کند، به‌عنوان یک چالش جهانی محسوب می‌شود؛ زیرا ارائه این دسته از خدمات شهری به دلیل فقدان داده‌ها و اطلاعات کافی به‌طور معناداری مورد غفلت واقع شده است. هدف از این پژوهش ارائه راهکاری بهینه به‌منظور جمع‌آوری مناسب زباله‌های محلات ۴۰ گانه شهر زابل هست تا با کمینه‌سازی زمان انجام مأموریت، سطح رضایت‌مندی شهروندان از این‌گونه خدمات شهری افزایش یابد. روش تحقیق توصیفی، از نوع مطالعات کاربردی و مبتنی بر مطالعات اسنادی و بررسی‌های میدانی است. به‌منظور انجام این پژوهش از الگوریتم فرا ابتکاری رقابت استعماری و نرم‌افزار Arc GIS استفاده شده است و تمامی برنامه‌نویسی‌های مربوطه در محیط نرم‌افزار MATLAB

۱ نویسنده مسئول ۰۹۱۵۵۴۵۰۱۵۱ Email: a.shahbazi@uoz.ac.ir

انجام شده است. نتایج تحقیق حاکی از آن است که الگوریتم رقابت استعماری با تعریف ۲۰ تکرار در تکرار ۱۵ و با طی زمانی برابر با ٤,۱۱ ثانیه و با ضریب اطمینان ۷۱ ٪ به بهینه‌ترین حالت ممکن دست یافت و ترتیب مربوط به بهینه‌ترین تقاطع‌ها را نشان داد.

کلیدواژه‌ها: زباله‌های شهری الگوریتم رقابت استعماری زابل ArcGIS MATLAB

۱- مقدمه

امروزه عمده‌ترین زباله‌های شهری توسط فعالیت‌های انسانی تولید می‌شود و در ادامه فرایند مربوط به جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، تفکیک و امحا سازی این دسته از خدمات شهری در صورت عدم رعایت موازین اصولی می‌تواند باعث آسیب‌های جبران‌ناپذیر در زمینه محیط‌زیست و سلامتی انسان شود (سکسنا و همکاران[1]، ۲۰۱۰). توسعه اقتصادی، شهرنشینی و ارتقا استانداردهای زندگی شهری در شهرها باعث افزایش کمی و پیچیدگی ترکیبات مربوط به زباله‌های تولید شده شهری می‌شود (گودی[2] و همکاران، ۲۰۰۸ و راتی[3] ۲۰۰۷). در زمینه مبحث مربوط به زباله‌های جامد شهری، در حالت کلی طبقه‌بندی شناخته شده‌ای وجود دارد؛ برای مثال، زباله‌های جامد شهری شامل زباله‌های خانگی، صنعتی، تجاری، کشاورزی و غیره می‌شود. در مواقع متعددی زباله‌های خانگی و تجاری متفاوت نیستند و هر دو به‌عنوان زباله‌های شهری در نظر گرفته می‌شوند (سید[4]، ۲۰۰٦).

در میان مجموعه فعالیت‌های تأثیرگذار در زمینه جمع‌آوری، تفکیک و امحا زباله‌های شهری، مسئله جمع‌آوری مناسب این نوع از تولیدات زائد شهری سهم مهمی در بهبود خدمات شهری دارد؛ زیرا حمل‌ونقل بهینه و کارآمد زباله‌های شهری علاوه بر صرفه‌جویی‌های چشم‌گیر در زمینه زمان و انرژی و افزایش رضایت شهروندان دارد.

در کشور ایران با محاسبه ۸۰۰ گرم زباله سرانه، هرروز بالغ بر ۵۰۰۰۰ تن مواد زائد جامد تولید می‌شود که در مقایسه با سایر کشورهای جهان با ۲۹۲ کیلوگرم زباله هر نفر در سال در حد متعادلی قرارگرفته است (عمرانی، ۱۳۹۵: ۳) اما ازدیاد جمعیت و توسعه صنعت به‌گونه‌ای که در برنامه سوم جمهوری اسلامی ایران مطرح است موجبات ازدیاد مواد زائد جامد و بالطبع تغییرات فیزیکی- شیمیایی آن‌ها به وجود می‌آورد؛ به‌طوری‌که برنامه‌ها و روش‌های جمع‌آوری و دفع زباله موجود جوابگوی نیازهای این بخش از کار نخواهد بود.

شهر زابل در ابعاد محیطی (طبیعی و انسانی) با مخاطرات متنوع و مختلفی مواجه است. به سبب ویژگی محیط طبیعی (انتهای حوضه آبریز هیرمند، شرایط مرفولوژیکی و ژئومورفولوژیکی خاص، شیب کم شهر، طوفان‌های گرد و خاک، همجواری با تالاب بین‌المللی هامون و ...) و ویژگی‌های محیط انسانی (مرزی بودن، فرار سرمایه از شهر و

1 Secsena et al
2 Gidde et al
3 Rathi
4 Syed

منطقه، عدم سرمایه‌گذاری‌های متناسب در شهر، مسائل متعدد مرتبط با امور شهری و ...) نیازمند شناخت، برنامه‌ریزی و مدیریت بیشتر در خصوص مخاطرات محیطی است. یکی از مخاطرات محیطی، پسماندهای شهر زابل است که ضرورت انجام پژوهش حاضر را هر چه بیشتر آشکار می‌نماید؛ ازاین‌رو، هدف پژوهش حاضر، بهینه‌سازی زمان جمع‌آوری پسماندهای شهر زابل در کاهش مخاطرات محیطی با تکیه بر الگوریتم رقابت استعماری و GIS است.

تکنولوژی و رشد جمعیت در حال حاضر رو به افزایش است. این رشد جمعیت در بسیاری از موارد، کمبود خدمات شهری و از آن جمله خدمات مدیریت پسماند را سبب می‌گردد (ام کا گوست و همکاران[1]، ۲۰۰۶: ۱۲۸۸). نبود سیاست‌های اجرایی، تخصیص سرمایه، زمین، تحصیلات و فرصت کافی و مناسب و وجود نارسایی در اطلاعات و مدیریت بدون کنترل در زمینه مدیریت پسماند در کشورهای درحال‌توسعه از جنبه‌های گوناگون ازجمله بهداشت عمومی، زیبایی‌شناختی، زیست‌محیطی و اقتصادی به‌خصوص در مراحل جمع‌آوری و حمل پسماندها حائز اهمیت و توجه جدی است (اسلام و همکاران[2]، ۲۰۰۷: ۱۹۱۲).

شهر زابل به دلیل توسعه فیزیکی و جمعیتی که در طول سال‌های اخیر تجربه کرده است روزبه‌روز شاهد افزایش جمعیت و پیرو آن افزایش تعداد محلات است. بدین منظور توجه به امر بهداشت و سلامت مردم شهر زابل و رعایت جنبه‌های پیشگیری قبل از درمان بدون توجه به سیستم‌ها و روش‌های جمع‌آوری و دفع مواد زائد که مسبب اصلی آلودگی در این شهر و محلات مختلف آن شده است، امکان‌پذیر نیست. اشاعه بیماری‌های کیست، هپاتیت، بروز گهگاه وبا در این شهر و انواع بیماری‌های پوستی همچون لیشمانیوز و سلسله بیماری‌های سرطان‌زا و سکته‌های نابهنگام در این شهر و روستاهای اطراف آن‌که معمولاً به مواد فسادپذیر و پس‌مانده‌های شیمیایی محیط‌زیست نسبت داده می‌شود، ماحصل تداخل صدها نوع مواد سمی و عفونت‌زا با زباله‌های شهری و انتشار آن‌ها در آب، خاک و هوای زندگی روزمره ماست. به‌منظور کنترل هرچه بیشتر پسماندهای این شهر و جمع‌آوری هر چه سریع‌تر آن از سطح شهر باید راهکارهای بهینه‌ای ارائه کرد تا ضمن از بین رفتن صف طولانی در ایستگاه‌ها، کاهش مصرف سوخت و جلوگیری از انتشار میکروب‌ها و گردوغبار در هوا و آلودگی‌های زیست‌محیطی و همچنین صرفه‌جویی در هزینه جمع‌آوری پسماندها بشود. راهبردهای مرتبط با مسیر، و انتخاب بهترین گزینه، یکی از رویکردهایی است که می‌تواند به‌طور چشمگیری از این فشارها کاسته و سطح معیارهای عملکردی را بهبود بخشد (سپهری، ۱۳۹۲: ۱۷۳).

سینگ[3] در سال ۲۰۱۹ در مقاله‌ای تحت عنوان کاربرد سنجش‌ازدور و GIS در زمینه مدیریت زباله‌های شهری به بررسی اجمالی مقالات مختلف در زمینه تکنولوژی GIS و سنجش‌ازدور به‌منظور مدیریت مسائل زیست‌محیطی

---

1 M.K.Ghose et al
2 Isslam et al
3 Sing

پسماندهای شهری پرداخته‌اند. این مطالعه آشکار کرد که با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، کارآمدی سیستم مدیریت زباله‌های شهری می‌تواند به بالاترین سطح ممکن ارتقا یابد. این مطالعه همچنین نشان داد که این تکنیک‌ها به‌طورمعمول به‌منظور مکان‌یابی مراکز دفن زباله و همچنین ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی زباله‌های سوزانده شده به کار می‌روند.

استنز[1] در سال (۲۰۰۵) در مقاله‌ای تحت عنوان "برنامه‌ریزی مسیر بهینه و کارا برای محیط‌های ناشناخته " به درک هدایت و مسیریابی با استفاده از الگوریتم D* پرداخته است و منتج به شناخت مسیر در محیط‌های ناشناخته شده است.

توزکایا[2] در سال (۲۰۰۸) در مقاله‌ای تحت عنوان "تحلیل فازی و مدل‌سازی هوش مصنوعی برای رسیدن به بهترین مسیر حمل‌ونقل ترکیه و آلمان" با توجه به حجم تبادلات ترانزیتی ترکیه و آلمان ، سعی در بهینه‌سازی مسیر جهت کوتاه کردن زمان و مسافت برای جلوگیری از تصادفات ناشی از خستگی رانندگان شده است.

خمر و پاسبان در سال (۱۳۹٦) در مقاله‌ای تحت عنوان "مطالعه تطبیقی اجتماع مورچگان و ژنتیک در مسیریابی بهینه (مطالعه موردی: شهر پارس‌آباد و حومه)" اقدام به مطالعه تطبیقی دو نوع الگوریتم فرا ابتکاری یعنی الگوریتم اجتماع مورچگان و الگوریتم ژنتیک در زمینه مسیریابی بهینه و کمینه‌سازی مسافت طی شده کرده‌اند. این تحقیق مطالعه موردی بر روی بیش از ۲۹ نقطه شهری و روستایی به مرکزیت شهر پارس‌آباد و در محیط نرم‌افزار متلب می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که با توجه به وسعت کم منطقه موردمطالعه، زمان و کیفیت دستیابی به مسیر بهینه در الگوریتم اجتماع مورچه در مقایسه با تئوری ژنتیک با زمان ثبت شده‌ای برابر با ۰,۲۳ میلی‌ثانیه سریع‌تر محاسبه شد، درحالی‌که این زمان برای الگوریتم ژنتیک برابر با ۰,۲۷ میلی‌ثانیه بود. همچنین زمان رسیدن به محل حادثه توسط آمبولانس‌ها نیز با فرض حرکت ۳۰ مورچه، برای الگوریتم اجتماع مورچه و ژنتیک به ترتیب ۱۹ دقیقه و ٤٥ ثانیه و ۲۲ دقیقه و ۱۲ ثانیه محاسبه شد.

بزی و سرگلزایی در سال ۱۳۹٤ در پژوهشی تحت عنوان مکان‌یابی دفن زباله در شهر زابل با استفاده از روش AHP سعی کرده‌اند که مکانی متناسب با معیارهای استاندارد برای جمع‌آوری و دفن زباله‌ها در شهر زابل تعیین کنند و برای این منظور از نرم‌افزار GIS و مدل تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. نتایج تحقیق حاکی از آن است که بهترین پهنه انتخابی برای دفن زباله در پایین دست منطقه دفن کنونی واقع شده است. این پهنه از نظر احداث مکان برای دفع زباله کاملاً متناسب است.

ذوالفقاری و کرکه آبادی در سال (۱۳۹۲) در مقاله‌ای تحت عنوان "مسیریابی هوشمند اکیپ‌های امدادی با استفاده از الگوریتم تئوری بازی‌ها نمونه موردی: شهر سمنان" اقدام به بهینه‌سازی مسیریابی با استفاده از الگوریتم

1 Estenz
2 Tuzkaya

تئوری بازی‌ها در نرم‌افزار ArcGIS کردند. برنامه‌های مسیریابی با الگوریتم‌های ژنتیک، کلونی مورچه و تئوری بازی‌ها، در نرم‌افزار ArcGIS فراخوانی و سپس برای مسیریابی صورت گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که در وهله اول، نبود پایگاه اطلاعات مکانی مشترک بین سازمان‌های امدادی باعث می‌شود خدمات‌رسانی آن‌ها در کم‌ترین زمان امکان‌پذیر نباشد و در صورت ایجاد پایگاه اطلاعات مکانی و استفاده از آن با توجه به وسعت کم شهر موردمطالعه یعنی سمنان، زمان دستیابی به مسیر بهینه توسط ArcGIS با استفاده از الگوریتم تنوری بازی‌ها در مقایسه با استفاده از سایر الگوریتم‌ها کوتاه‌تر باشد، به‌نحوی‌که این زمان برای تئوری ژنتیک، کلونی مورچه و تنوری بازی‌ها به ترتیب ۰,۲۷، ۰,۲۳ و ۰,۱۹ میلی‌ثانیه محاسبه شد.

الگوریتم‌های محاسبه کوتاه‌ترین مسیر

مسئله کوتاه‌ترین مسیر همواره یکی از کاربردی‌ترین مسائل در تحلیل‌های مکانی حمل‌ونقل و سیستم‌های خدماتی مکان مبنا بوده است. با توسعه و پیشرفت روزافزون این سیستم‌ها الگوریتم‌های مختلفی برای مسیریابی بهینه با توجه به پارامترها و خصوصیات و ساختار شبکه ارائه شده است. با توجه به تنوع مسائل مسیریابی از لحاظ ساختار گراف و پارامترها هیچ‌گاه یک الگوریتم بهینه برای کلیه مسائل مسیریابی وجود نداشته است. به‌عبارت‌دیگر متناسب با هر نوع مسئله یک الگوریتم خاص می‌تواند بهترین نتیجه را بدهد (صابریان، ۱۳۸۹).

الگوریتم‌های مسیریابی به دو دسته اصلی الگوریتم‌های ماتریسی و الگوریتم‌های با ساختار درختی تقسیم‌بندی می‌شوند (Preygel, 1999). الگوریتم‌های ماتریسی، کوتاه‌ترین فاصله بین همه جفت رأس‌ها در شبکه را با عملیات تکراری پیدا می‌کنند. اساس کار این الگوریتم‌ها این است که شبکه را به‌صورت یک ماتریس در نظر می‌گیرند، اما الگوریتم‌های با ساختار درختی کوتاه‌ترین مسیر را از رأس مبدأ به سایر رأس‌ها می‌یابند. در این الگوریتم‌ها درختی از کوتاه‌ترین مسیرها با شاخه‌هایی منشعب شده از مبدأ تولید می‌شود. از الگوریتم‌های درختی می‌توان به الگوریتم دایجسترا (Cormen, et al., 2001) و الگوریتم رقابت استعماری (Detcher and Pearl, 2013) و از الگوریتم‌های ماتریسی می‌توان به الگوریتم فلوید- وارشال و جانسون اشاره کرد.

الگوریتم رقابت استعماری (ICA)

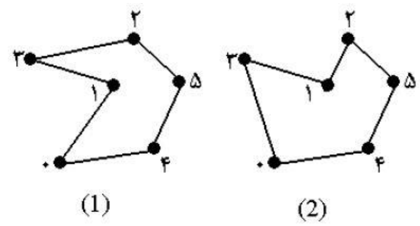
الگوریتم ICA یکی از روش‌های جدید فرا ابتکاری درختی است که توسط آتش پز لوکاس ابداع شد (یوسفی، ۱۳۹۰: ۲۸) که نه از یک پدیده طبیعی بلکه از یک پدیده اجتماعی–انسانی الهام گرفته است (Atashpaz, 2007: 4662) اگرچه تنها شش سال از ابداع این الگوریتم می‌گذرد، اما تاکنون در مسائل زیادی مانند طراحی ساختار اسکلت خوشه‌بندی داده‌ها (همان)، موتور لقایی خطی(Kavesh & Talataheri 2010) و غیره استفاده‌شده است. دلایل استقبال زیاد از این الگوریتم علاوه بر کارایی مناسب، سرعت همگرایی و توانایی بهینه‌سازی بالا در مقایسه با

الگوریتم‌های موجود (Khabbazi, Atashpaz, Lucas, 2009: 129)، بیشتر به جهت نوآوری و جذاب بـودن آن بـرای متخصصین حوزه بهینه‌سازی است.

الگوریتم ICA که مانند روش‌های الگوریتم اجتماع مورچگان(ACO) و الگوریتم ژنتیک (GA) برای رسـیدن بـه جواب از سامانه‌های تکاملی استفاده می‌کنـد، ازنظـر قابلیـت تعمیم‌پـذیری در مسـائل بسـیار موفـق بـوده اسـت و در بسیاری از کاربردها ظاهرشده است. در این مسئله با توجه به این‌که الگوریتم اطلاعات اندکی مانند فضـای جسـت‌وجو و تعریف جواب شدنی برای مسئله اصلی دارد، می‌توان با ایجاد جواب‌های تصادفی در مسیر یـافتن جواب‌هـای بهتـر حرکت کند و در فضای جست‌وجو تا حد امکان به‌خوبی پیشروی نماید.

چون *ICA* یک روش تکاملی است، پس در ابتدا باید به‌وسیله تعدادی کشور (جمعیت اولیه) شروع بـه کـار کنـد. بنابراین *P* جمعیت اولیه تصادفی برای مسئله ایجاد می‌شود و مقادیر تابع هدف f_i بـه ازای هـر کشـور *i= 1, 2, ..., P* برای مسئله *TSP* به دست می‌آید (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۵: ۹۲)طبق حالت طبیعی کـه وجـود دارد بایـد کشـورهای مستعمره از لحاظ فرهنگی و اجتماعی به سمت کشورهای استعمارگر با استفاده از تابع جذب حرکـت کننـد. بنـابراین در این الگوریتم، از روش نزدیک‌ترین همسایه تصـادفی بـرای تـابع جـذب اسـتفاده می‌شـود (Pellegrini, 2005: 5). به‌طور مثـال اگـر در ایـن روش *[٤ ۲ ٥ ۳ ۱]* نشـان‌دهنده کشـورهای مسـتعمره و *[٥ ۲ ۱ ٤ ۳]* نشـان‌دهنده کشـور استعمارگر برای مسئله *TSP* با ۵ گره باشد، آنگاه الگوریتم از اولین گره کشور مستعمره که ۱ است، شروع بـه حرکـت می‌کند. سپس *i=1* در نظر گرفته می‌شود و همسـایه‌های ملاقـات نشـده ۱ در دو کشـور بـا گره‌هـای ۳، ٤ و ۲ را در مجموعه *s* قرار می‌دهد. حال اگر C_{IJ} نشان‌دهنده فاصله بین دو گروه *i* و *j* باشد، آنگاه گره‌های متعلـق بـه *s* بـه‌احتمال V_j در رابطه (۱) جای می‌گیرند.

$$V_j = \frac{1/C_{ij}}{\sum_{j\in s}(1/C_{ij}}$$ رابطه (۱)



شکل ۱- حرکت بهبود دهنده دونقطه‌ای

لازم به ذکر است استفاده از این روش سبب می‌گردد که علاوه بـر این‌کـه کیفیـت مقـادیر تـابع هـدف کشـورهای مستعمره طبق این روال افزایش یابد، تنوع کشورهای مستعمره به علت ساختار تصادفی تابع جذب حفظ شود.

همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است الگوریتم توسعه داده شده، همانند سایر روش‌های بهینه‌سازی تکاملی، با تعدادی جمعیت اولیه شروع می‌شود، همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است الگوریتم توسعه داده شده، همانند سایر روش‌های بهینه‌سازی تکاملی، با تعدادی جمعیت اولیه شروع می‌شود.

جمع‌آوری زباله‌های شهری

سابقه سیستم‌های مدرن مدیریت مواد زائد جامد شهری در کشورهای صنعتی مانند آمریکا و انگلستان به اواخر دهه ۱۹۳۰ و اوایل دهه ۱۹٤۰ و در مجامع علمی و روشنفکری سابقه موضوع به‌صورت مکتوب به اواسط دهه ۱۹۱۰ بر می‌گردد. اگرچه در آن روزها سیستم مدیریت مواد زائد جامد شهری بسیار ساده بوده، ولی پایه و اساس علمی داشت. در آن روزها بازیافت و پردازش مطرح نبود. انرژی و مواد اولیه نیز به‌اندازه کافی در دسترس بود. بنابراین دو ضرورت عمده یعنی تولید مواد و انرژی و افزایش کارایی سیستم که امروز بسیار مورد توجه است، آن روزها اصولاً مورد توجه نبودند(*Abdoli, 1988*).

علاوه بر این‌ها، تنوع در ماشین‌آلات وجود نداشت و در بسیاری از موارد برای حمل زباله از گاری‌های اسب کش استفاده می‌شد. بر اساس ضرورت، تشکیلات جدید و خاص این سیستم‌ها به وجود آمد و شکل گرفت. برای مثال تا زمانی که ماشین‌آلات خاصی برای جمع‌آوری مواد زائد جامد وجود نداشت و در این سیستم‌ها از ماشین‌آلات و ابزار و تجهیزات متداول در سایر قسمت‌های شهری استفاده می‌شد، به ایجاد واحدهای خاص تعمیر و نگهداری، راه‌اندازی و مدیریت تجهیزات نیازی نبود (*Abdoli, 2006*).

امروزه، بخش‌های پشتیبانی کننده این سیستم‌ها، شامل: امور مالی، راه‌اندازی، مدیریت وسایل و تجهیزات، پرسنلی، گزارش دهی و فهرست‌نویسی، محاسبه قیمت و بودجه، اداره قراردادها، نظام و خطوط راهنما، روابط عمومی و تجهیز نیروی انسانی و آموزش جز جدایی‌ناپذیر عناصر موظف‌اند و نقش کلیدی در رسیدن به اهداف سیستم‌های مدیریت مواد زائد جامد شهری دارند (*Rhyner, 1995*).

روش‌های مرسوم مدیریت پسماند در کل دنیا را می‌توان به شرح زیر تقسیم‌بندی نمود: (*Forbes, 2001; Ghasemi, 2007*).

۱- تولید کمپوست از پسماند تر که روش‌های مختلفی وجود دارد که برخی از آن‌ها عبارتند از:

الف) تولید کمپوست به روش هوازی

ب) غیر هوازی

روش‌های هوازی به طرق مختلف ازجمله ۱- بیومکانیکال (پشه گذاری و هوادهی از طریق لوله‌های خاص) ۲- هوادهی استفاده از دستگاه ویندوز یا همزن ۳- هوادهی و استفاده از دستگاه لودر به‌صورت سنتی پسماند تر تولید

شده در خانه عبارتند از پوست میوه‌جات، سبزیجات، تفاله چای، پسماند غذایی و ... که می‌توان با اعمال برخی فعالیت‌ها کود تولید نمود تا در بخش کشاورزی از آن استفاده شود.

۲- تولید برق حاصل از زباله‌سوزی که به دو روش

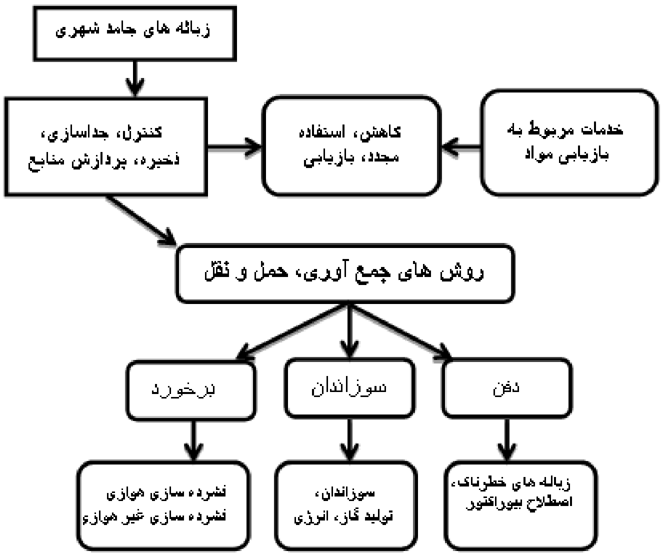
الف) مستقیم (زباله مستقیماً سوخته و انرژی تولید می‌کند)

ب) روش پلاسما که از طریق اشعه یا پرتونگاری انرژی پسماندها گرفته می‌شود.

البته زباله‌سوزی در کشورهایی که زمین کمتری دارند مناسب است مثل کشورهای اروپایی و آلمان و اتریش و سویس و ... که برای کشورهایی مثل کشور ایران توصیه نمی‌گردد و به دلیل گران بودن تجهیزات و نگه‌داری و تعمیرات آن توجیه ندارد.

۳- بازیافت مواد (پردازش یا ریسایکل) مواد قابل برگشت را طی پروسه‌ای در کارگاه‌ها و کارخانه‌ها مجدداً مواد برگشت‌پذیر را استفاده می‌نمایند که مدیریت خاص لازم است.

٤- دفن بهداشتی که مطالعات دقیق زمین‌شناسی لازم دارد و نیاز به زیرسازی خاص جهت جلوگیری از نفوذ شیرابه و ترانشه بندی اصولی برای استحصال گاز باید صورت پذیرید تا شیرابه تولیدی به نحو مقتضی مدیریت گردد.



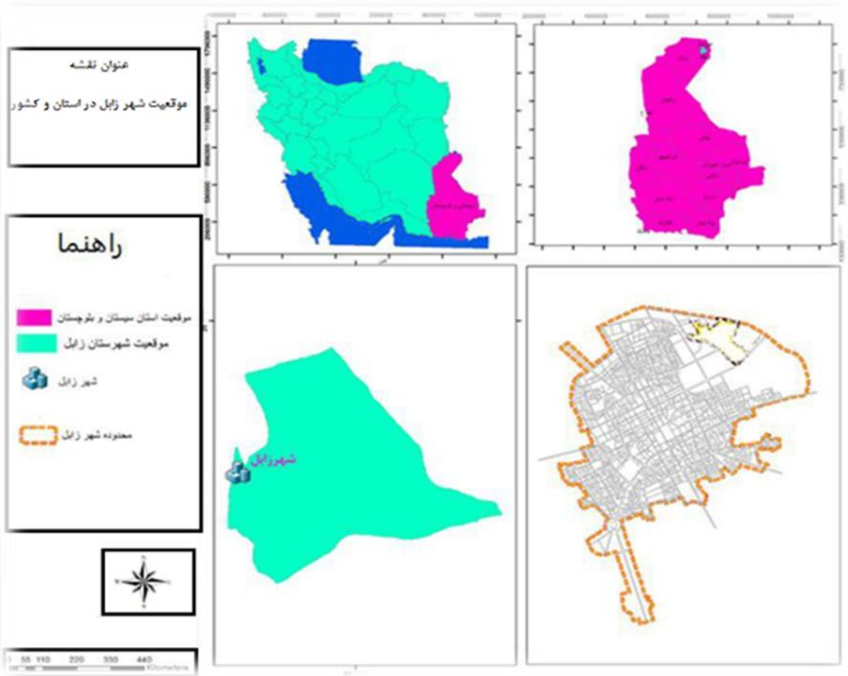
شکل ۲- مراحل مختلف مربوط به جمع‌آوری، حمل و تبدیل زباله‌های شهری (نگارندگان، ۱۳۹۹)

۲- روش تحقیق

این پژوهش توصیفی- تحلیلی و مبتنی بر مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای است. بدین شرح که ابتدا اقدام به استخراج مختصات جغرافیایی مراکز محلات مختلف شهر زابل و ثبت تعداد شریان‌های ورودی و خروجی این محلات در درون محیط نرم‌افزار *MATLAB* می‌کنیم. در ادامه با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری در زمینه حل مسئله فروشنده دوره‌گرد اقدام به پردازش اطلاعات ورودی و دریافت مسیرهای پیشنهادی از سوی نرم‌افزار می‌نماییم. درنهایت نیز اقدام به پیاده‌سازی مسیرهای پیشنهادی الگوریتم در قالب نرم‌افزار *Arc GIS* و نقشه شهر به‌منظور نمایش ملموس‌تر مسیرهای پیشنهادی می‌کنیم. (لازم به ذکر است که به‌منظور برنامه‌نویسی و پردازش یافته‌های تحقیق از کامپیوتری با مشخصات زیر استفاده شد *Cor I 7*، *Ram 4*، *Graphic 2*.

۲-۱- معرفی منطقه موردمطالعه

شهر زابل مرکز شهرستان زابل در مرکز منطقه سیستان قرار گرفته است. وسعت شهر زابل برابر با ۲۰۸٤ هکتار است که ۱۳٪ درصد از وسعت شهرستان را در بر می‌گیرد. زابل در فاصله زمینی ۲۱٦ کیلومتر از زاهدان مرکز استان سیستان و بلوچستان قرار دارد (مهندسین مشاور طاش، ۱۳۸۵).



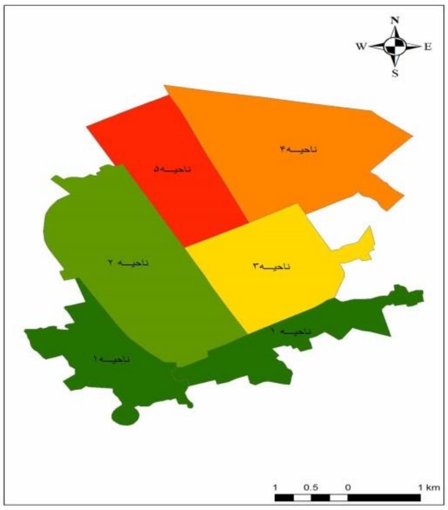
شکل ۳- موقعیت منطقه موردمطالعه

منبع: Google map

جدول ۱- مساحت و جمعیت نواحی شهر زابل (محاسبات نگارنده برای سال ۱۳۹۹ بر مبنای سرشماری ۱۳۹۵)

ناحیه	مساحت (مترمربع)	جمعیت
ناحیه ۱	٤٣٢٠٣٣١	٤٢٤٥٧
ناحیه ۲	٥٢٩٦٣٤١	٤٧٧٩٤
ناحیه ۳	٣٢١٢٦٨٣	٤٠٨٢٠
ناحیه ٤	٤٩٦١٥٥٨	٨٤٨٧
ناحیه ٥	٢٩٠٢٩٧٥	٢٦١٠٥
زابل	٦٢٢٢٢٩٦	١٦٥٦٦٦

نواحی پنج‌گانه نیز در مجموع محلات مختلفی را شامل می‌شوند که بزرگ‌ترین آن‌ها محله‌های واقع در نواحی ۲ و ۳ زابل می‌باشد که روی هم مساحتی برابر با ۸۵۰۹۰۲٤ مترمربع را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ٤- موقعیت نواحی ۵ گانه شهر زابل

۳- نتایج و بحث

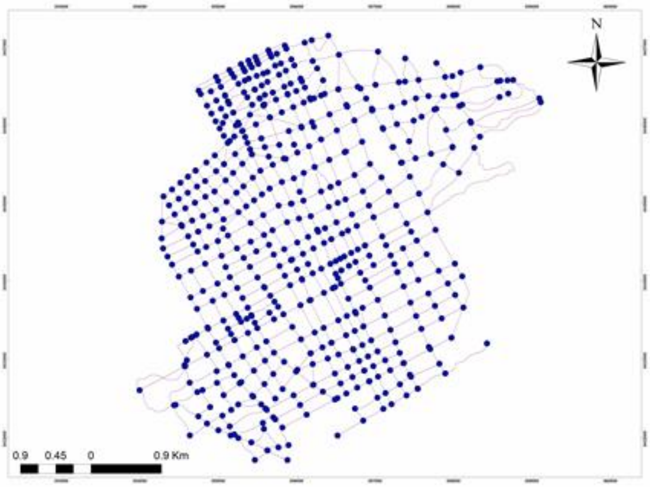
۳- ۱- جمع‌آوری بهینه زباله‌های شهر زابل به روش TSP

به‌منظور پیاده‌سازی الگوریتم رقابت استعماری در زمینه بهینه‌سازی زمان جمع‌آوری زباله‌های محلات شهر زابل، نخستین گام استخراج مختصات جغرافیایی مرکز هرکدام از محلات مختلف نواحی ۵ گانه شهر زابل و تعیین یال‌های پیوند دهنده این محلات است تا ماشین‌های جمع‌آوری زباله‌های شهری با توجه به شبکه‌بندی خیابان‌های شهر زابل

و لزوم توجه به تقاطع‌ها در زمینه تغییر مسیر اقدام به انتخاب بهترین مسیر نموده و در کوتاه‌ترین زمان ممکن عملیات را به اتمام برسانند.

لازم به ذکر است که مهم‌ترین شروط تعریف‌شده برای پیاده‌سازی الگوریتم تحقیق لزوم جلوگیری از تکرار در بستر شبکه‌بندی شهری و درنهایت بازگشت به نقطه اولیه است. یعنی ماشین‌های جمع‌آوری زباله با در نظرگیری عنصر بهینگی از هر مسیر باید یک‌بار عبور کرده و درنهایت به مبدأ حرکت خود بازگردند.

شکل زیر شبکه‌ای از گره‌ها (مرکز محلات) و یال‌های مرتبط کننده آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۵- موقعیت گره‌های مرتبط کننده یال‌ها

شکل ٦ شبکه‌بندی تقاطع‌های مربوط به خیابان‌های اصلی و فرعی دسترسی به محلات مختلف شهر زابل را تحت عنوان گره و یال نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که با توجه به این‌که عملیات مربوط به جمع‌آوری پسماندهای جامد شهر زابل از یک مبدأ واحد شروع شده و پس از طی مسیر به مبدأ حرکت باز می‌گردد؛ ازاین‌رو نقشه راه حرکت وسایل نقلیه جمع‌آوری و حمل زباله به‌صورت واحد انجام می‌شود.

با توجه به این‌که در فرایند حرکت بر روی شبکه راه‌های درون‌شهری امکان انتخاب مسیرهای دوگانه و حتی چندگانه وجود دارد؛ ازاین‌رو انتخاب کوتاه‌ترین مسیر (با حفظ شرایط ۱ بار عبور از هر مسیر) اولویت اساسی دارد زیرا هزینه‌های حاصل از انتخاب مسیر اشتباه شاید در یک مأموریت کوتاه و مقطعی قابل‌ملاحظه و چشمگیر به‌حساب نیاد، ولی مسلماً در حرکت‌ها و مأموریت‌های مداوم و بلندمدت که بازه انتخاب مسیرها به شکل تصاعدی افزایش می‌یابد، در صورت عدم به‌کارگیری سازوکارهای علمی و مطمئن، هزینه‌های ناشی از این خطاهای انسانی در

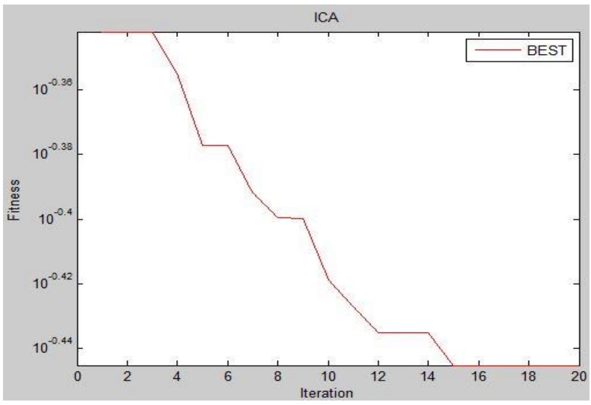
مقیاس کلان افزایش چشم‌گیری می‌یابد که به‌نوبه خود می‌تواند بودجه هنگفتی را از درامدهای شهرداری زابل به خود اختصاص دهد ازاین‌رو الگوریتم مورداستفاده در این تحقیق به این اولویت مهم پاسخ می‌دهد.

به‌منظور حل مسئله جمع‌آوری بهینه زباله‌های شهری از طریق الگوریتم رقابت استعماری و با تأکید بر شروط مطرح شده در تحقیق مانند نقاط مبدأ و مقصد و گراف‌های مرتبط کننده آن‌ها از نرم‌افزار برنامه‌نویسی *MATLAB* استفاده شد که نمونه‌ای از کدهای مربوطه در جدول زیر ارائه شده است.

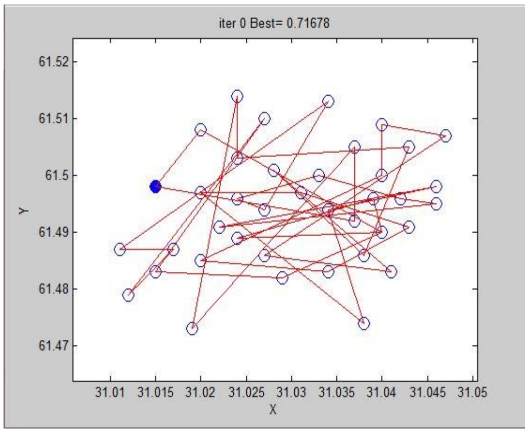
جدول ۲- نمونه کدهای تعریف شده به‌منظور مسیریابی بهینه با الگوریتم رقابت استعماری

معنی	توضیح	کد
ورود داده‌های محلات ۱٤ گانه	-	data=InsertData( );
تعداد متغیرها (محلات ١٤ گانه)	% Number of Variables	nvar=data.N;
استخراج ماتریس فاصله‌ها	% Distance Matrix	Dis=data.Dis;
حد پایین متغیرها	% min of variables	lb
حد بالای متغیرها	% max of variables	ub
تعداد کشور	Population size	ncountries
تعداد امپراتوری	Number of imp	nimp
تعداد تکرار (۲۰)	Max num iteration	maxiter
ضریب جذب	Assimilation cofficient	beta

در ادامه فرایند تحقیق، مسئله مسیریابی حرکت گروه‌های جمع‌آوری زباله‌های شهری بر روی شبکه‌بندی خیابان‌های شهر زابل و با هدف یک‌بار عبور کردن از هرکدام از محلات مختلف این شهر با تعریف ۲۰ تکرار در محیط نرم‌افزار اجرا شد و متلب در تکرار ۱۵ به بهینگی رسید.



شکل ٦- نمودار مربوط به بهینگی با تعداد ۲۰ تکرار




```
Iter  = 1 BEST = 0.43581 NIMP = 10
Iter  = 2 BEST = 0.43581 NIMP = 10
Iter  = 3 BEST = 0.4353 NIMP = 10
Iter  = 4 BEST = 0.4353 NIMP = 10
Iter  = 5 BEST = 0.42131 NIMP = 10
Iter  = 6 BEST = 0.41156 NIMP = 10
Iter  = 7 BEST = 0.40909 NIMP = 10
Iter  = 8 BEST = 0.40816 NIMP = 10
Iter  = 9 BEST = 0.39647 NIMP = 10
Iter  = 10 BEST = 0.39647 NIMP = 10
Iter  = 11 BEST = 0.39647 NIMP = 10
Iter  = 12 BEST = 0.3963 NIMP = 9
Iter  = 13 BEST = 0.39534 NIMP = 9
Iter  = 14 BEST = 0.39421 NIMP = 9
Iter  = 15 BEST = 0.38803 NIMP = 9
Iter  = 16 BEST = 0.38154 NIMP = 9
Iter  = 17 BEST = 0.37459 NIMP = 9
Iter  = 18 BEST = 0.37082 NIMP = 9
Iter  = 19 BEST = 0.37082 NIMP = 9
Iter  = 20 BEST = 0.37082 NIMP = 9
Best Fitness = 0.71
Best X = 1.187     0.95765     0.6848     0.72167
Time = 4.1121
fx >>
```

شکل ۷- مسیر پیشنهادی الگوریتم به‌منظور حرکت بر روی شبکه‌بندی راه‌های درون‌شهری زابل

نتایج مربوط به خروجی حاصل از اجرای برنامه‌نویسی انجام شده بر روی شبکه‌بندی خیابان‌های درون‌شهری زابل و با رعایت مختصات جغرافیایی محلات و تقاطع‌های مربوطه حاکی از آن است که الگوریتم در تکرار ۱۵ و با طی زمانی برابر با ٤,۱۱ ثانیه و با ضریب اطمینان ۷۱ ٪ به بهینه‌ترین حالت ممکن دست یافت.

شکل ۹ مسیرهای حرکتی بهینه خودروهای حمل زباله را نشان می‌دهد که از نقطه فرضی شماره ۱۵ شروع شده و پس از طی کردن ۳۸ محله درنهایت به محله ۱۷ ختم می‌شود.

```
>> randperm (40)

ans =

  Columns 1 through 23

    15    28    29    14     5    37    20    34    38    32    22    30    11    18    36     2     1     7    40     6    16    23    27

  Columns 24 through 40

    19    39     8    13    12    24     9    21    10     3     4    33    31    25    35    26    17
```

شکل ۸- نقاط مقصد خودروهای حمل زباله با مبدأ نقطه ۱۵

٤- نتیجه‌گیری

در این مقاله از الگوریتم رقابت استعماری به‌منظور بهینه‌سازی مسیرهای حرکتی ماشین‌های حمل زباله استفاده شد تا با کمینه‌سازی زمان جمع‌آوری پسماندهای شهر زابل و هزینه‌های حاصل از این نوع خدمات شهری، سطح کیفیت ارائه خدمات و درنهایت رضایت‌مندی شهروندان به بیشینه‌ترین حد ممکن برسد. یکی از پارامترهای مهم در این تحقیق ضرورت عدم تکرار حرکت بر روی شبکه‌بندی شهری بود؛ به‌عبارت‌دیگر ماشین‌های حمل زباله بایستی فقط یک بار از هرکدام از خیابان‌های اصلی و فرعی محلات عبور کرده و درنهایت پس از طی همه خیابان‌های درون‌شهری به مبدأ حرکت خود باز می‌گشتند.

در این پژوهش، موضوع موردبررسی محلات ٤٠ گانه شهر زابل و تقاطع‌های مربوط به آن‌ها (گره) و مسیرهای مرتبط کننده مربوط به این گره‌ها (یال) بود. در برنامه‌نویسی‌های انجام شده قالب بر ٤٠ تقاطع به‌عنوان نقاط هدف به نرم‌افزار معرفی شد. خروجی نرم‌افزار حاکی از آن بود که الگوریتم در تکرار ۱۵ و با طی زمانی برابر با ٤٫۱۱ ثانیه و با ضریب اطمینان ۷۱ ٪ به بهینه‌ترین حالت ممکن دست یافت و ترتیب مربوط به بهینه‌ترین تقاطع‌ها را نشان داد.

لازم به ذکر است که در الگوریتم طراحی‌شده ICA، تبادل مسیر علاوه بر ارتباط دادن محله مرکزی با محلات بزرگ و کوچک تابعه، مابین تک‌تک شهرها و روستاهای دیگر نیز می‌تواند صورت بگیرد. به‌عبارت‌دیگر، تعیین مرکزیت، وابستگی مستقیمی به نوع برنامه‌نویسی و تعریف نقاط مبدأ و مقصد دارد و هر شهر یا روستایی می‌تواند در وضعیت خاصی مرکزیت را به خود اختصاص دهد. این ویژگی موجب می‌شود که در مواقع بحرانی ازجمله جنگ و بلایای طبیعی و تخریب شهر مرکزی نیز، به‌راحتی و با تعریف دوباره الگوریتم، نقاط مرکزی جدیدی را با سرعت هر چه بیشتر انتخاب و جایگزین کنیم. به‌عبارت‌دیگر مدل ارائه‌شده در این مقاله، علاوه بر مسئله موردبررسی می‌تواند به‌منظور مسیریابی بهینه توزیع کالاهای اساسی به هنگام وقوع بحران‌های طبیعی و انسانی، مسئله ترافیک و غیره نیز مورداستفاده قرار گیرد.

در پایان باید اضافه کرد که مخاطرات محیطی (طبیعی و انسانی) شهر زابل به‌واسطه رعایت مسائل پسماندهای شهری به‌واسطه استفاده از بهینه‌سازی زمان جمع‌آوری پسماندها، کاهش می‌یابد، زیرا تسخیر یا از دست ندادن روند زمان در کاهش مخاطرات محیطی مؤثر هست به‌ویژه اینکه شهر زابل با محدودیت‌های زمانی – مکانی از مبدأ تا مقصد پسماندها موجه است بنابراین، موشکافی و پژوهش عمیق با تکیه بر الگوریتم رقابت استعماری و GIS راهبردهای دقیق‌تر و سریع‌تری پیش روی برنامه‌ریزی شهری، محیطی و متصدیان امور شهر زابل قرار می‌دهد.

۵- پیشنهادها

نتایج حاصل از اجرای الگوریتم فرا ابتکاری رقابت استعماری نشان داد که این الگوریتم دارای قابلیت‌های شایسته‌ای در زمینه مسئلهٔ شهری و در رأس آن خدمات شهری دارد. ازاین‌رو سرمایه‌گذاری در این زمینه می‌تواند باعث بهبود عملکرد فعالیت‌های شهری شده و درنهایت سطح رضایت‌مندی شهروندان را ارتقا دهد.

فرایند مربوط به اجرای الگوریتم نشان داد که فاکتورهای مختلفی در زمینه عملکرد بهینه آن مؤثرند که ازجمله آن‌ها می‌توان به موقعیت مرکز محلات، تقاطع‌های مرتبط کننده محلات، مسیرهای چندگانه ارتباطی بین محلات و ... اشاره کرد. ازاین‌رو با افزایش فاکتورهای دخیل در فرایند اجرای مدل، خروجی مدل بهبود پیدا می‌کند. درنتیجه پیشنهاد می‌شود که با ارتقا بانک داده مربوط به شهرهای موردبررسی و ترکیب این الگوریتم با مدل‌های دیگر مؤثر در این زمینه مانند چرخ رولت (Rolete wile) به نتایج واقع‌بینانه‌تری نسبت به انتظارات و حل مسائل شهری دست یافت.

در پایان پیشنهاد می‌شود که با توجه به‌دقت بالای زمانی و مکانی الگوریتم پیشنهادی و حضور به‌موقع گروه‌های حمل زباله در محله‌های هدف، سطل زباله‌های موجود در سطح پهنه‌های مسکونی حذف‌شده و ساکنان محلات رأس ساعت معین‌شده زباله‌های خود را تحویل گروه‌های خدماتی دهند، زیرا انباشت و تلنبار حجیم زباله‌ها در این سطل‌های زباله و برای مدت‌زمان طولانی باعث سرازیر شدن شیرابه و الحاق آن به آب‌های جاری و بوی نامطلوب در سطح محلات شده و طبیعتاً در ادامه مخاطرات و آسیب‌های زیست‌محیطی را در پی دارد.

کتابنامه

استنز، آنتونی؛ ۲۰۰۵. *برنامه‌ریزی مسیر بهینه و کارا برای محیط‌های ناشناخته*، ترجمه اکتای حسن‌زاده. انتشارات کتاب سبز.

بزی، خدارحم؛ ۱۳۹۳. مکان‌یابی دفن زباله در شهر زابل با استفاده از روش AHP، *فصلنامه کاوش‌های جغرافیایی*.۳ (۱): ۱۴۳-۱۱۹.

حسین زاده، سید رضا؛ خسروی بیگی، رضا؛ ایستگلدی، مصطفی؛ شمس‌الدینی، رضا؛ ۱۳۹۰. ارزیابی پایداری زیست‌محیطی در نواحی شهری با استفاده از فن تصمیم‌گیری چند معیاره تخصیص خطی (مطالعه موردی: شهر بندر ترکمن). *مجله مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی*. ٦(١٦). ۳۱-۵۱.

خمر، غلامعلی؛ پاسبان، وحید؛ نگاره، مژگان؛ ۱۳۹٦. کاربرد الگوریتم اجتماع مورچه در مسیریابی بهینه گروه‌های امدادی بین‌شهری. *مجله حمل‌ونقل شهری*.

ذوالفقاری، اکرم؛ کرکه‌آبادی، زینب؛ ۱۳۹۱. مسیریابی هوشمند اکیپ‌های امدادی با استفاده از الگوریتم تئوری بازی‌ها (نمونه موردی شهر سمنان). *فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل*. سال پنجم. شماره ۱. تهران.

رهنما، محمدرحیم؛ سپهری، ندا؛ ۱۹۳۰. ارزیابی شاخص‌های شهر اکولوژیک در شهر چناران در راستای توسعه پایدار با روش Emergy. *نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۸(۲۹). ۲۱۹-۲۳٦.

صابری، جواد؛ سعدی مسگری، محمد؛ ۱۳۸۹. مسیریابی بهینه بر اساس معیار زمان با توجه به شرایط متغیر ترافیکی. *مجله مهندسی حمل‌ونقل*. سال اول. شماره چهارم. صص ۵۳- ٦۵.

عمرانی، قاسم علی؛ ۱۳۹۵. *مدیریت زباله‌های شهری*. مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت و بهداشت‌کار. ۱۳۹۵.

یوسفی، مجید؛ رحمتی، فرهاد؛ ۱۳۹۰. یک الگوریتم بهبودیافته جمعیت مورچگان برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه همراه با دریافت و تحویل هم‌زمان کالا. *پژوهشنامه حمل‌ونقل*. سال هشتم. شماره۲. تهران.

Abdoli, M. A., 1998. Disposal and recycling management of municipal solid waste in Iran. Tehran: Organization of national municipalities .

Atashpaz- Gargari, E. & Lucas, C., 2007. Imperical competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by imperialistic competition, Evolutionary Computation, CEC 2007. IEEE Congress on, IEEE, 4661- 4667.

Athashpaz- Gargari, E., 2009. Imperialist Competitive Algorithm development and its applications, M.S. Thesis, University of Tehran (in Persian.(

Cormen, T.H., Leiserson, C. E., Rivest, R.L and Stein, C., 2001. Introduction to algorithms, MIT Press and McGraw- Hill, pp 588- 601.

Issam A.Al- Khatib, Hassan A. Arafat, Thabet Basheer, Hadeel Shawahneh, Ammar Salahat, Jaafar Eid and Wasif Ali., 2007. rends and problem of solid waste management in developing countries: Acase study in seven palestin district, Waste management pages 1919- 1910.

Kavesh, A., & Talatahari, S., 2010. Optimum design of skeletal structures using imperialist competitive algorithm. Computers & Structures, 88 (21), 1220 – 1229.

Khabbazi, A., Atashpaz- Gargari, E., & Lucas, C., 2009. Imperialist competitive algorithm for minimum bit error rate beamforming. International Journal of Bio- Inspired Computation, 1 (1-2), 125- 133.

M.K.Ghose, A.K. Dikishit, S.k.Shrma., 2006. A GIS Based transportation model for solid waste disposal- Acase study on Asansol municipality, Waste management, p 1293- 1287.

Pellegrini, P., 2005. Application of two nearest neighbor approachesto a rich vehicle routing problem, TR/IRIDIA..15, IRIDIA,Universite Librede Bruxelles, Brussels, Belgium.

Preygal, A. (1999). Path finding: A comparison of algorithms, Management Science, Matthews.

Tuzkaya, U. R. and Onut, S., 2008. “A fuzzy analytic network process based approach to

Zeller Vanessa, Towa Edgar, Degrez Marc, Achten Wouter M. J., 2019. Urban waste flows and their potential for a circular economy model at city-region level, Waste Management, Volume 83, January, Pp. 83-94.